

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. August 2004 (19.08.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/069651 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B64C 3/38, 27/46

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2004/000162

(22) Internationales Anmeldedatum:  
3. Februar 2004 (03.02.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
103 04 530.9 4. Februar 2003 (04.02.2003) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE]; Willy-  
Messerschmitt-Strasse, 85521 Ottobrunn (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): JÄNKER, Peter  
[DE/DE]; Hochackerstrasse 52 a, 85521 Riemerling (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,

CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI,  
GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,  
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,  
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,  
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,  
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,  
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM,  
ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ,  
TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK,  
EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT,  
RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

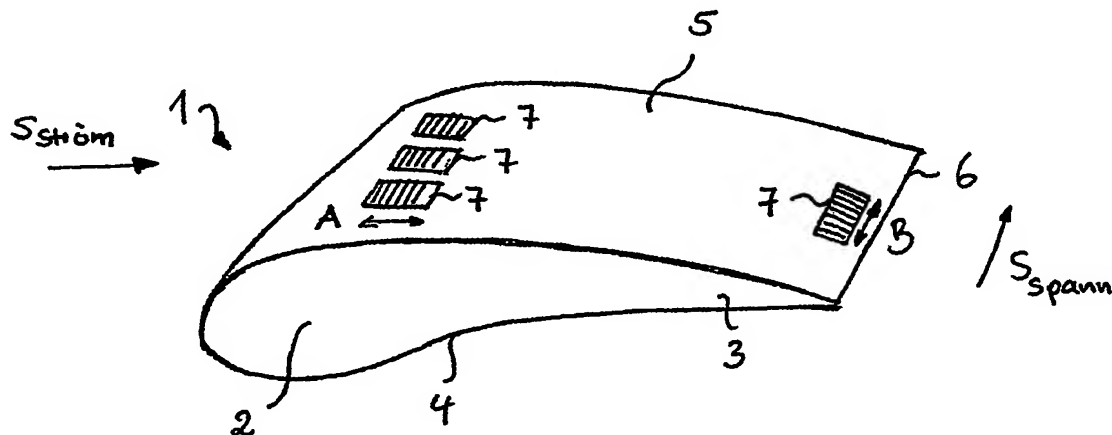
Veröffentlicht:

- mit internationalem Recherchenbericht
- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden  
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen  
eintreffen

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: DEFORMABLE AERODYNAMIC PROFILE

(54) Bezeichnung: VERFORMBARES AERODYNAMISCHES PROFIL



(57) Abstract: The invention relates to a deformable aerodynamic profile (1) comprising a front profile area (2) and a rear profile area (3) which is arranged in the direction of the outflow and which is limited by a pressure-sided and suction-sided covering skin (4, 5), converging in a profile rear edge (6). The invention is characterised in that the profile (1) is provided, at least in places, with d33 piezo actuators (7) for the deformation thereof. Longitudinal alterations thereof occur by electric impingement which takes places essentially in the direction of the plane of the covering skins (4, 5).

(57) Zusammenfassung: Verformbares aerodynamisches Profil (1), das einen vorderen Profilbereich (2) sowie einen in der Abströmung liegenden hinteren Profilbereich (3) aufweist und durch eine druckseitige sowie saugseitige Deckhaut (4, 5) begrenzt ist, die in einer Profilhinterkante (6) zusammenlaufen, dadurch gekennzeichnet, dass das Profil (1) zu dessen Verformung zumindest stellenweise mit d33-Piezoaktuatoren (7) versehen ist, wobei deren Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung im wesentlichen in Richtung der Ebenen der Deckhäute (4, 5) erfolgt.

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/069651 A1



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

## **Verformbares aerodynamisches Profil**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein verformbares aerodynamisches Profil gemäß  
5 dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Verschiedene Anordnungen und Verfahren sind bekannt, um den Auftrieb und den  
Strömungswiderstand eines umströmten Körpers, zum Beispiel in Form eines ae-  
rodynamischen Profils, an verschiedene Umgebungsbedingungen anzupassen  
10 und zu optimieren. Derartige aerodynamische Profile können Hubschrauberrotor-  
blätter, Flugzeugtragflächen oder Turbinenschaufeln sein, um nur einige Beispiele  
zu nennen.

Aus dem Bereich der Luftfahrttechnik sind eine Vielzahl von Lösungen bekannt,  
15 die unter Verwendung unterschiedlicher Verstelleinrichtungen mechanisch ein  
Verformen der Profilwölbung derartiger aerodynamischer Profile erzielen. Dabei  
treten jedoch in der Regel Spalten und Hohlräume in der Außenhaut des Profils  
auf, was für viele Anwendungen von Nachteil ist.

20 Um diesem Problem entgegenzuwirken ist in DE 196 43 222 C2 eine Anordnung  
beschrieben, bei der die Umströmungseigenschaften durch ein kontinuierliches  
Verformen eines aerodynamischen Profils mit elastisch verformbarer Außenhaut  
unter Verwendung einer in dem Profil integrierten Verstelleinrichtung verändert  
werden.

25 Ferner ist aus DE 197 09 917 C1 eine Vorrichtung zur gesteuerten Verformung  
einer Schalenstruktur bekannt, die eine Anzahl von Beulrippen aufweist, die wie-  
derum über Aktuatoren miteinander verbunden sind, um eine Veränderung der  
Wölbung eines mit den Beulrippen verbundenen elastischen Bauteils zu bewirken.

Des Weiteren sind aus dem Stand der Technik Verbundstrukturen zum Bewirken und Erfassen von Deformationen bekannt, die eine Vielzahl von parallel verlaufender Piezofasern aufweisen (z.B. US 5,869,189 und US 6,048,622). Nachteil  
5 hierbei ist jedoch, dass die Fasern nicht nur sehr teuer sondern auch auf Grund ihres hohen Gewichtes relativ ineffizient sind. Zudem ist eine geeignete Kontaktierung der Piezofasern erforderlich, wobei auch zu berücksichtigen ist, dass eine möglichst homogene Feldverteilung, die für das Hervorrufen des piezoelektrischen Effektes erforderlich ist, besteht. Die hierfür erforderlichen Elektroden können bei-  
10 spielsweise durch separate Lagen bzw. Elektrodenschichten bereit gestellt werden, die nur mit entsprechendem technischen Zusatzaufwand in die Verbundstruktur integriert werden können. Bei der Verwendung dieser bekannten Verbundstruktur zum Bewirken einer Deformation ist ferner von Nachteil, dass in der Regel eine Hochspannung zur Ansteuerung der piezoelektrischen Fasern erforderlich ist. Dies  
15 bedeutet nicht nur, dass ein hoher Energiebedarf erforderlich ist, was die Anordnung uneffizient macht, sondern auch, dass eine aufwändige Steuerelektronik nötig ist. Zudem müssen entsprechende Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden.

Somit liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein verformbares, aerodynamisches Profil zu schaffen, dessen Profilwölbung technisch einfach und  
20 wirkungsvoll veränderbar ist.

Die Aufgabe wird durch ein aerodynamisches Profil gelöst, das einen vorderen Profilbereich sowie einen in der Abströmung liegenden hinteren Profilbereich auf-  
25 weist und durch eine druckseitige sowie saugseitige Deckhaut begrenzt ist, die in einer Profilhinterkante zusammenlaufen, und sich erfindungsgemäß dadurch auszeichnet, dass das Profil zu dessen Verformung zumindest stellenweise mit d33-Piezoaktuatoren versehen ist, wobei deren Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung im wesentlichen in Richtung der Ebenen der Deckhäute erfolgt.

Durch die Verwendung und entsprechende Ausrichtung von piezoelektrischen Aktuatoren mit sogenanntem Longitudinaleffekt (d33-Effekt), wobei die Längenänderung des piezoelektrischen Werkstoffes in Richtung des elektrischen Feldes erfolgt, welcher bekanntlich größer ist als der gewöhnliche Piezoeffekt (d31-Effekt),  
5 bei dem die Längenänderung senkrecht zum elektrischen Feld erfolgt, ist ein effektiveres Einleiten von Kräften in das aerodynamische Profil möglich.

Besonders zweckmäßig ist es, die d33-Piezoaktuatoren auf der druckseitigen und/oder saugseitigen Deckhaut anzuordnen. Die Deckhäute bestehen dabei übli-  
10 cherweise aus gängigen Konstruktionswerkstoffen und die Fixierung der d33-Piezoaktuatoren erfolgt z.B. durch Aufkleben. Zur Befestigung können aber auch mechanische Befestigungsmittel verwendet werden (z.B. Klemm- oder Schraubvorrichtungen). Zusätzlich kann die mit den Piezoaktuatoren versehene Deckhaut mit einer Schutzschicht versehen sein, um die Piezoaktuatoren vor Stoß, Druck,  
15 Zug oder anderen äußeren Einwirkungen (einschließlich Umwelteinflüssen) zu schützen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform sind die d33-Piezoaktuatoren in der druckseitigen und/oder saugseitigen Deckhaut integriert. Diese Konfiguration wird  
20 in sogenannten Verbundstrukturen bevorzugt, die metallischer Natur sein können aber auch sogenannte MMC's („Metall Matrix Composites“). Ebenso können die d33-Piezoaktuatoren in Faserverbundstrukturen integriert sein. Ein Vorteil besteht hierbei darin, dass die Piezoaktuatoren automatisch geschützt sind.

25 In analoger Weise findet das erfindungsgemäße Prinzip auch Anwendung auf andere Auftriebskörper, die beispielsweise an dem aerodynamischen Profil angeordnet sind, wie zum Beispiel Steuerklappen. In diesem Fall ist die Steuerklappe mit d33-Piezoaktuatoren versehen, wobei die d33-Piezoaktuatoren wiederum so ausgerichtet sind, dass deren Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung in

analoger Weise im wesentlichen in Richtung der Ebene der Klappe erfolgt. Besonders vorteilhaft ist dabei eine Ausgestaltung, bei der die mit d33-Piezoaktuatoren versehene Klappe an der Profilhinterkante des aerodynamischen Profils angelenkt ist.

5

Besonders vorteilhaft ist es, dass als d33-Piezoaktuatoren stapelförmige piezoelektrische Elemente (sogenannte „Piezostacks“) verwendet werden, die bekanntlich einen schichtförmigen Aufbau aufweisen, bei dem sich Elektrodenlagen und Schichten aus piezoelektrischem Werkstoff abwechseln (und somit auch gleichbe-  
10 deutend als „schichtförmige“ Piezoaktuatoren bezeichnet werden). Dies hat den Vorteil, dass die Elektroden in dem Piezoaktor integriert sind, was die Kontaktierung des Piezoaktuators erheblich erleichtert und gleichzeitig für eine homogene Feldverteilung innerhalb des Piezoaktuators sorgt. Dabei ist es besonders zweckmäßig, dass das elektrische Feld zum Hervorrufen des d33-Effektes über  
15 die in dem schichtförmigen Piezoaktor integrierten Elektroden bereit gestellt wird. Dadurch ist die erfindungsgemäße Anordnung besonders effektiv und technisch einfach ausführbar.

Ferner ist es zweckmäßig, dass die schichtförmigen d33-Piezoaktuatoren eine  
20 geringe Dicke von ca. 0,5 bis 2,5 mm aufweisen, so dass sie selbst die Strömungsverhältnisse kaum beeinflussen. Dabei ist es vorteilhaft, dass derartige dünne, schichtförmige d33-Piezoaktuatoren einfach in die Deckhäute von aerodynamischen Profilen eingelassen oder integriert werden können und ein geringes Gewicht aufweisen.

25

Ferner ist es zweckmäßig, dass die Seitenabmessungen der d33-Piezoaktuatoren zwischen 5 und 60 mm liegen. Dadurch ist eine Anpassung an vorgegebene Geometrien (z.B. Ecken, Kanten, Rundungen etc.) leicht möglich.

Das erfindungsgemäße Prinzip findet hauptsächlich Anwendung bei Hubschrauberrotorblättern, Flugzeugtragflächen, Turbinenschaufeln oder dergleichen.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Abbildungen in näheren Einzelheiten erläutert. In denen zeigt:

- Fig. 1 eine schematische dreidimensionale Ansicht eines aerodynamischen Profils mit d33-Piezoaktuatoren;
- 10 Fig. 2 eine schematische Darstellung eines stapelförmigen piezoelektrischen Elementes zur Erläuterung  
a) des d33-Effektes und  
b) des d31-Effektes;
- 15 Fig. 3 schematische Ansichten zur Erläuterung einer Torsionsverwölbung an Hand  
a) einer Teilquerschnittsansicht einer Deckhaut; und  
b) einer Draufsicht des in Fig. 3a dargestellten Ausschnitts;
- 20 Fig. 4 eine Schnittansicht einer weiteren Ausführungsform des erfindungsgemäßen aerodynamischen Profils; und

Fig. 5 eine schematische dreidimensionale Ansicht eines aerodynamischen Profils mit angelenkter Steuerklappe.

25

Figur 1 zeigt in allgemeiner Form ein aerodynamisches Profil 1 in schematischer, dreidimensionaler Darstellung. Das Profil 1 weist einen vorderen Profilbereich 2 sowie einen in der Abströmung liegenden hinteren Profilbereich 3 auf. Zur Verdeutlichung ist in Figur 1 die Strömungsrichtung mit Pfeil  $S_{\text{ström}}$  bezeichnet. Das

Profil 1 wird auf bekannte Weise durch eine druckseitige Deckhaut 4 sowie eine saugseitige Deckhaut 5 begrenzt, die im hinteren Profilbereich 3 in einer Profilhinterkante 6 zusammenlaufen. Die Profilhinterkante 6 verläuft dabei in Spannweitenrichtung  $S_{\text{spann}}$ . Ein derartiges aerodynamisches Profil 1 ist z.B. ein Hubschrauberrotorblatt oder eine Flugzeugtragfläche, die aus dem Stand der Technik wohlbe-

5 kannt sind, so dass auf eine Beschreibung weiterer Einzelheiten verzichtet werden kann.

Das aerodynamische Profil 1 ist ferner mit Piezoaktuatoren 7 versehen, die in der

10 Ausführungsform gemäß Figur 1 auf der saugseitigen Deckhaut 5 angeordnet sind. Selbstverständlich können die Aktuatoren auch zusätzlich oder ausschließlich auf der druckseitigen Deckhaut 4 – je nach Anwendungsbedarf – angeordnet sein. Die Piezoaktuatoren 7 sind beispielsweise durch Kleben oder andere geeignete Befestigungsmittel (z.B. Klemm-, Schraubvorrichtungen etc.) an der Deck-

15 haut bzw. den Deckhäuten befestigt.

Die verwendeten Piezoaktuatoren 7 weisen den sogenannten d33-Effekt (Longitudinaleffekt) auf, der im Zusammenhang mit Figur 2 näher erläutert wird. Die Figuren 2a und 2b zeigen in schematischer Darstellung ein stapelförmiges piezoelek-

20 trisches Element 8 (auch „Piezostack“ genannt), das bekanntlich aus alternierend angeordneten Schichten aus elektrisch leitfähigem und piezoelektrischem Material aufgebaut ist. Die Schichten aus elektrisch leitfähigem Material stellen Elektroden 8a dar. In dem in Fig. 2a gezeigten Fall liegt das elektrische Feld  $E$  in Stapel- bzw. Längsrichtung des piezoelektrischen Elementes 8 an, wobei das elektrische Feld

25  $E$  zweckmäßigerweise über die Elektroden 8a bereitgestellt wird. Aufgrund des elektrischen Feldes  $E$  dehnt sich der piezoelektrische Werkstoff in Richtung des elektrischen Feldes  $E$  aus. Diese Längenänderung ist in Figur 2a mit  $\Delta L$  bezeichnet und ist bekanntlich größer als die Längenänderung  $\Delta l$  beim d31-Effekt, bei dem die Längenänderung  $\Delta l$  quer zum elektrischen Feld  $E$  erfolgt (s. Fig. 2b).

Der Piezostack 8 von Fig. 2a wird zur Verwendung als d33-Piezoaktuatoren 7 für das in Fig. 1 schematisch dargestellte aerodynamische Profil in Längsrichtung geschnitten, wobei der schichtförmige Aufbau mit alternierend angeordnetem piezoelektrischen und elektrisch leitfähigen Material beibehalten wird. Die Dicke „d“ der so geschnittenen Piezoaktuatoren 7 beträgt typischerweise 0,5 bis 2,5 mm und die  
5      Seitenabmessungen „a“ und „b“ liegen typischerweise zwischen 5 und 60 mm.

Die Anordnung der geschnittenen, schichtförmigen d33-Piezoaktuatoren 7 auf dem aerodynamischen Profil 1 erfolgt je nach Anwendung, so dass die Profilwölbung in gewünschter Richtung veränderbar ist. Dies wird nachstehend wiederum unter Bezugnahme auf Fig. 1 näher erläutert. Figur 1 zeigt exemplarisch drei im vorderen Profilbereich 2 angeordnete d33-Piezoaktuatoren 7. Die d33-Piezoaktuatoren 7 sind so ausgerichtet, dass die Längenänderung  $\Delta L$  bei elektrischer Beaufschlagung der d33-Piezoaktuatoren 7 innerhalb der Deckhaut 5 in Strömungsrichtung  $S_{\text{ström}}$  erfolgt, was in Figur 1 mit dem Doppelpfeil „A“ angedeutet ist. Daneben können die d33-Piezoaktuatoren 7 auch so angeordnet werden, dass ihre Längenänderung in der Ebene der Deckhaut 5 in Spannweitenrichtung erfolgt, was durch den Aktuator 7, der in der Nähe der Hinterkante 6 angeordnet ist, dargestellt ist. Die Richtung der Längenänderung dieses Aktuators ist dabei mit  
15      Doppelpfeil „B“ bezeichnet. Die Piezoaktuatoren 7 können selbstverständlich auch so angeordnet werden, dass die Längenänderung innerhalb bzw. parallel zu den Deckhautebenen in eine Richtung weist, die zwischen den Richtungen A und B liegt (in Fig. 1 nicht dargestellt). Geringe Abweichungen beispielsweise aufgrund einer nicht vollständig planen Befestigung auf den Deckhäuten (d.h. die Piezoaktuatoren sind geringfügig bezüglich der Deckhautebenen geneigt) sind unschädlich und liegen im Toleranzbereich. Wesentlich ist, dass die d33-Piezoaktuatoren derart angeordnet sind, dass ihre Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung im wesentlichen in Richtung der Ebenen der Deckhäute 4 bzw. 5 verläuft.  
20      25

Auf diese Weise können in der Ebene der Deckhäute 4, 5 entsprechende Längenänderungen und damit Verwölbungen erzielt werden.

Für den Fall, dass eine Torsion des aerodynamischen Profils 1 erwünscht wird, werden die d33-Piezoaktuatoren 7 in analoger Weise auf beiden Seiten der jeweiligen Deckhaut 4 bzw. 5 angeordnet, was nachstehend an Hand von Figur 3a und 3b näher erläutert wird. Figur 3a zeigt exemplarisch eine Teilquerschnittsansicht der druckseitigen Deckhaut 4, an deren Ober- und Unterseite 4a, 4b d33-Piezoaktuatoren 7 angebracht sind. Wie zuvor beschriebenen, sind die d33-Piezoaktuatoren 7 so angeordnet, dass deren Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung im wesentlichen in Richtung der Deckhautebene erfolgt. Die Piezoaktuatoren 7 auf der Ober- und Unterseite 4a, 4b weisen jedoch in Bezug aufeinander eine andere Ausrichtung aus, was in Figur 3b dargestellt ist, die eine Draufsicht des in Figur 3a gezeigten Ausschnitts darstellt. Der auf der Oberseite 4a angeordnete d33-Piezoaktor 7 weist innerhalb der Ebene der Deckhaut 4 in eine Richtung A' und der auf der unteren Seite 4b angeordnete Piezoaktor 7 (gestrichelt dargestellt) weist in eine Richtung B'. Durch diese „gekreuzte“ Anordnung, wird bei Betätigung der Piezoaktuatoren 7 eine Torsion der entsprechenden Deckhaut bewirkt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform, die nicht dargestellt ist, können die dünnen d33-Piezoaktuatoren 7 jeweils in die druck- bzw. saugseitigen Deckhäute 4, 5 integriert sein. Eine derartige Ausgestaltung ist beispielsweise von Nutzen, wenn die Deckhäute aus Verbundwerkstoffen bestehen. Durch das Integrieren der Piezoaktuatoren in die Verbundstruktur sind einerseits die Aktuatoren 7 geschützt, andererseits wird eine möglichst symmetrische Verwölbung bewirkt. Letztere ist insbesondere dann von Vorteil, wenn die Deckhäute eine relativ große Dicke im Verhältnis zur Aktuatordicke „d“ aufweisen. Eine derartige integrierte Anordnung

findet typischerweise bei Verbundstrukturen (z.B. metallische Verbundstrukturen, MMC's, Faserverbundwerkstoffe etc.) Anwendung.

Bei einer speziellen Ausgestaltung dieser Ausführungsform, die schematisch in Fig. 4 dargestellt ist, sind die Deckhäute nicht separat aus einem Verbundwerkstoff aufgebaut, sondern das gesamte Profil ist als Verbundwerkstoff ausgebildet. In diesem Fall ist das aerodynamische Profil 1 nicht hohl, sondern weist eine kompakte Bauweise auf und die Piezoaktuatoren 7 sind innerhalb des Profils 1, angeordnet, wobei in Fig. 4 lediglich schematisch ein Piezoaktor 7 dargestellt ist.

Ferner sei angemerkt, dass in analoger Weise das Wirkungsprinzip der Erfindung auch für weitere Anströmprofile, die beispielsweise an dem aerodynamischen Profil 1 angebracht sind, anwendbar ist. Dies ist schematisch in Figur 5 dargestellt, die ein aerodynamisches Profil 1 zeigt, an dessen Profilhinterkante 6 eine weiteres Anströmprofil in Form einer Klappe 9 schwenkbar angelenkt ist. Zur Auslenkung bzw. Verwölbung der Klappe 9 sind in diesem Ausführungsbeispiel die d33-Piezoaktuatoren 7 an der Klappe 9 angebracht, wobei die Längenänderung der d33-Piezoaktuatoren bei deren elektrischer Beaufschlagung analog zu der im Zusammenhang mit Fig.1 beschriebenen Anordnung in Richtung der Ebene der Klappe 9 erfolgt.

In jeder der voranstehend beschriebenen Ausführungsformen kann der Piezoaktor 7 mit elektrisch isolierendem Material (z.B. Keramik, Polymer etc.) vollständig oder lediglich an der Grenzfläche zur Struktur (z.B. druck- oder saugseitige Deckhaut 4, 5) umhüllt bzw. beschichtet werden, um eine Isolation zur Struktur zu gewährleisten. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn die Struktur, auf die der Piezoaktor aufgebracht ist, elektrisch leitend ist. In analoger Weise kann eine derartige Umhüllung auch für Schutzzwecke verwendet werden.

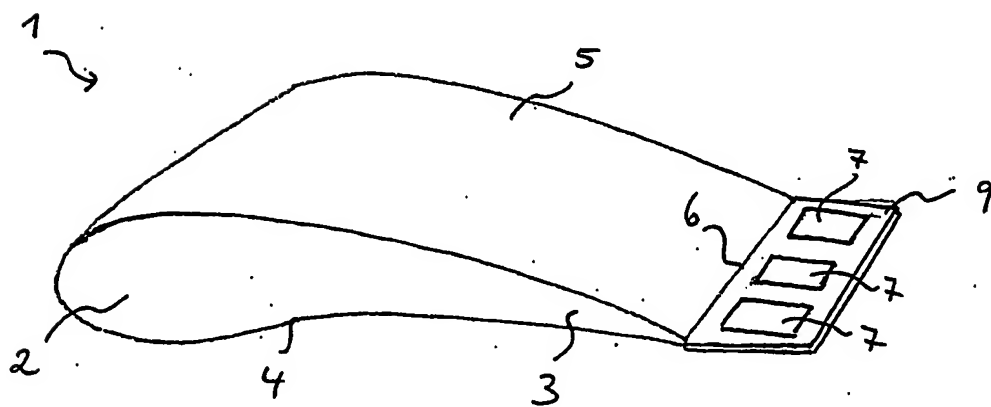
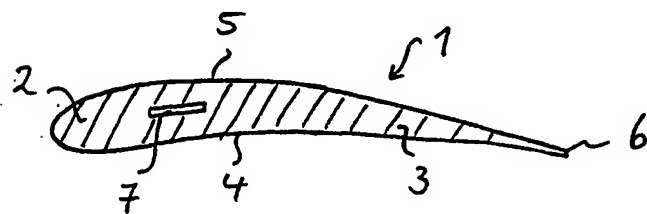
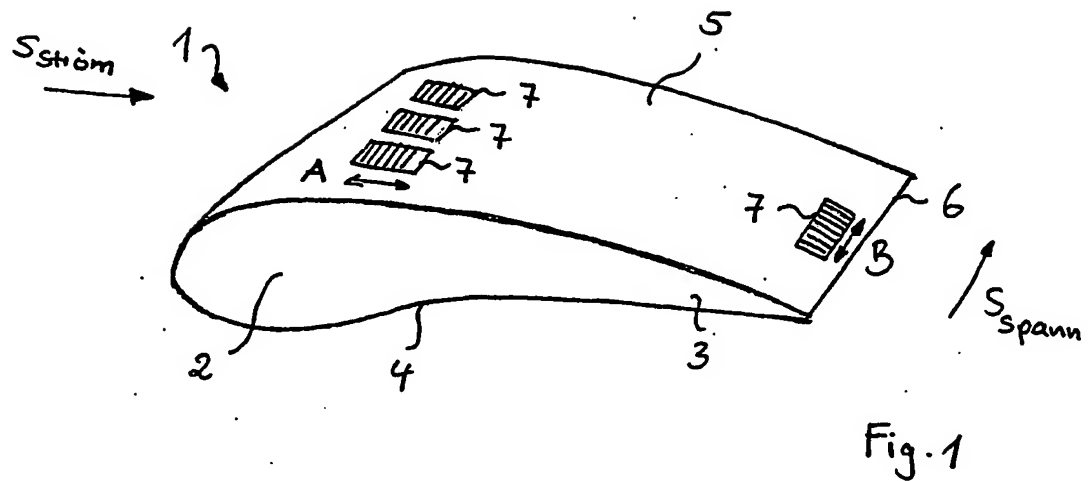
Die hier verwendeten stapelförmigen d33-Piezoaktuatoren können auf einfache Weise, wie voranstehend beschrieben, über die Elektroden 8a elektrische versorgt werden. Die Betriebsspannung liegt typischerweise im Bereich von 50 – 500 V und eine Kontaktierung der Elektroden 8a kann durch technisch einfach realisierbare  
5 Löt- oder Busverbindungen bewirkt werden.

Das voranstehend erläuterte erfindungsgemäße Prinzip findet hauptsächlich bei der Verwölbung von Hubschrauberrotorblättern, Flugzeugtragflächen, Turbinenschaufeln oder dergleichen Anwendung. Die Verwendung der erfindungsgemäßen  
10 Idee ist jedoch nicht auf diese speziellen Beispiele beschränkt.

### Patentansprüche

1. Verformbares aerodynamisches Profil (1), das einen vorderen Profilbereich  
5 (2) sowie einen in der Abströmung liegenden hinteren Profilbereich (3) aufweist  
und durch eine druckseitige sowie saugseitige Deckhaut (4, 5) begrenzt ist, die in  
einer Profilhinterkante (6) zusammenlaufen, **dadurch gekennzeichnet**, dass das  
Profil (1) zu dessen Verformung zumindest stellenweise mit d33-Piezoaktuatoren  
(7) versehen ist, wobei deren Längenänderung bei elektrischer Beaufschlagung im  
10 wesentlichen in Richtung der Ebenen der Deckhäute (4, 5) erfolgt.
2. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 1, **dadurch ge-  
kennzeichnet**, dass die d33-Piezoaktuatoren (7) auf der druckseitigen und/oder  
saugseitigen Deckhaut (4, 5) angeordnet sind.
- 15 3. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 1, **dadurch ge-  
kennzeichnet**, dass die d33-Piezoaktuatoren (7) in der druckseitigen und/oder  
saugseitigen Deckhaut (4, 5) integriert sind.
- 20 4. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 3, **dadurch  
gekennzeichnet**, dass die druckseitige und/oder saugseitige Deckhaut (4, 5) eine  
Verbundstruktur aufweisen/aufweist.
5. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach einem der Ansprüche 1 - 4,  
25 **dadurch gekennzeichnet**, dass an dem Profil (1) zumindest eine Klappe (9) an-  
gelenkt ist, die mit d33-Piezoaktuatoren (7) versehen ist, wobei deren Längenaus-  
dehnung bei elektrischer Beaufschlagung im wesentlichen in Richtung der Ebene  
der Klappe (9) erfolgt.

6. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mindestens eine Klappe (9) an der Profilhinterkante (6) angelenkt ist.
- 5 7. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die d33-Piezoaktuatoren (7) aus stapelförmigen piezoelektrischen Elementen (8) mit darin integrierten Elektroden (8a) bestehen.
- 10 8. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** das elektrische Feld (E) zum Hervorrufen des d33-Effektes über die Elektroden (8a) bereitgestellt wird.
- 15 9. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** die schichtförmigen d33-Piezoaktuatoren (7) eine Dicke (d) von ungefähr 0,5 bis 2,5 mm aufweisen.
- 20 10. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach Anspruch 7 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die schichtförmigen d33-Piezoaktuatoren (7) Seitenkantenabmessungen (a, b) von ungefähr 5 bis 60 mm aufweisen.
- 25 11. Verformbares aerodynamisches Profil (1) nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das aerodynamische Profil ein Hub-schrauberrotorblatt, eine Flugzeugtragfläche, eine Turbinenschaufel oder dergleichen ist.



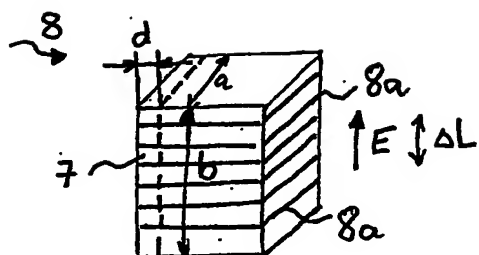


Fig. 2a

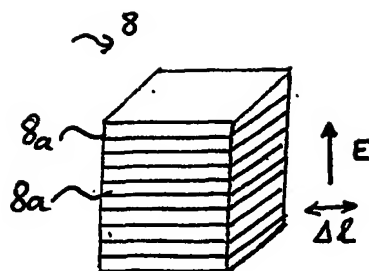


Fig. 2b

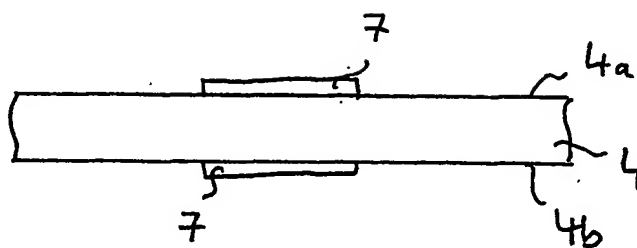


Fig. 3a

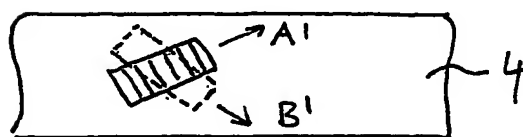


Fig. 3b

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 B64C3/38 B64C27/46

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B64C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 6 375 127 B1 (APPA KARI) 23 April 2002 (2002-04-23) column 5, line 54 - column 6, line 61 column 7, lines 3-20 figures 1-7	1,2,5-11
Y	WO 02/31378 A (EADS DEUTSCHLAND GMBH ; JAENKER PETER (DE); BEBESEL MARIUS (DE)) 18 April 2002 (2002-04-18) page 2, lines 21-25 page 3, lines 1-10 page 4, line 9 - page 5, line 27 page 6, line 19 - page 7, line 14 page 8, lines 4-13 figures 1-5	1,2,5-11



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 June 2004

Date of mailing of the international search report

07/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Weber, C

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 100 54 643 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 16 May 2002 (2002-05-16) the whole document	1-6,11
A	US 6 048 622 A (HAGOOD IV NESBITT W ET AL) 11 April 2000 (2000-04-11) cited in the application column 2, line 2 - column 4, line 34 column 4, line 65 - column 6, line 64 column 11, line 17 - column 12, line 13 figures 1,2,4,5	1-6,11
A	EP 1 235 284 A (EADS DEUTSCHLAND GMBH) 28 August 2002 (2002-08-28) the whole document	1-6,11

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6375127	B1	23-04-2002	NONE	
WO 0231378	A	18-04-2002	DE 10139686 A1 WO 0231378 A1 EP 1322873 A1 JP 2004511732 T US 2004070311 A1	02-05-2002 18-04-2002 02-07-2003 15-04-2004 15-04-2004
DE 10054643	A	16-05-2002	DE 10054643 A1	16-05-2002
US 6048622	A	11-04-2000	US 5869189 A	09-02-1999
EP 1235284	A	28-08-2002	DE 10106057 A1 EP 1235284 A2	19-09-2002 28-08-2002

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 7 B64C3/38 B64C27/46

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

 Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 7 B64C

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 6 375 127 B1 (APPA KARI) 23. April 2002 (2002-04-23) Spalte 5, Zeile 54 - Spalte 6, Zeile 61 Spalte 7, Zeilen 3-20 Abbildungen 1-7	1,2,5-11
Y	WO 02/31378 A (EADS DEUTSCHLAND GMBH ; JAENKER PETER (DE); BEBESEL MARIUS (DE)) 18. April 2002 (2002-04-18) Seite 2, Zeilen 21-25 Seite 3, Zeilen 1-10 Seite 4, Zeile 9 - Seite 5, Zeile 27 Seite 6, Zeile 19 - Seite 7, Zeile 14 Seite 8, Zeilen 4-13 Abbildungen 1-5	1,2,5-11

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. Juni 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

07/07/2004

 Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
 NL - 2280 HV Rijswijk  
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
 Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Weber, C

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 100 54 643 A (DEUTSCH ZENTR LUFT & RAUMFAHRT) 16. Mai 2002 (2002-05-16) das ganze Dokument	1-6,11
A	US 6 048 622 A (HAGOOD IV NESBITT W ET AL) 11. April 2000 (2000-04-11) in der Anmeldung erwähnt Spalte 2, Zeile 2 - Spalte 4, Zeile 34 Spalte 4, Zeile 65 - Spalte 6, Zeile 64 Spalte 11, Zeile 17 - Spalte 12, Zeile 13 Abbildungen 1,2,4,5	1-6,11
A	EP 1 235 284 A (EADS DEUTSCHLAND GMBH) 28. August 2002 (2002-08-28) das ganze Dokument	1-6,11

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 6375127	B1	23-04-2002	KEINE	
WO 0231378	A	18-04-2002	DE 10139686 A1	02-05-2002
			WO 0231378 A1	18-04-2002
			EP 1322873 A1	02-07-2003
			JP 2004511732 T	15-04-2004
			US 2004070311 A1	15-04-2004
DE 10054643	A	16-05-2002	DE 10054643 A1	16-05-2002
US 6048622	A	11-04-2000	US 5869189 A	09-02-1999
EP 1235284	A	28-08-2002	DE 10106057 A1	19-09-2002
			EP 1235284 A2	28-08-2002

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**